水稻精準農業體系
稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究
187-206, 2003


# 稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究

陳世銘*[1]、黃竣吉[1]、楊智凱[2]、陳加增[1]、黃政偉[1]、吳德輝[3]、蔡養正[4]、繆八龍[5]

[1]國立臺灣大學生物產業機電工程學系

[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組

[3]國立嘉義大學生物機電工程學系

[4]國立臺灣大學農藝學系

[5]國立臺灣大學農業試驗場

E-mail: schen@ccms.ntu.edu.tw

摘要 ------------------------------------------------------------------------------------ 188

一、前言 -------------------------------------------------------------------------------- 188

二、方法簡述 ---------------------------------------------------------------------------- 190

三、結果與討論 ------------------------------------------------------------------------- 195

四、結語 -------------------------------------------------------------------------------- 203

五、誌謝 -------------------------------------------------------------------------------- 204

六、引用文獻 ---------------------------------------------------------------------------- 204

ABSTRACT ------------------------------------------------------------------------------ 206

# 稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究

陳世銘*[1]、黃竣吉[1]、楊智凱[2]、陳加增[1]、黃政偉[1]、吳德輝[3]、蔡養正[4]、繆八龍[5]
[1]國立臺灣大學生物產業機電工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
[3]國立嘉義大學生物機電工程學系
[4]國立臺灣大學農藝學系
[5]國立臺灣大學農業試驗場
E-mail: schen@ccms.ntu.edu.tw

## 摘要

本研究以多光譜影像遙測技術爲基礎，自行開發出稻株含氮量多光譜影像遙測系統。在硬體研製整合上，稻株含氮量多光譜影像遙測系統成功結合多光譜影像擷取系統、定位系統及多功能田間載具系統。在軟體開發上，利用 Microsoft Visual C++ 6.0 進行程式撰寫，並與 Matlab 6.0 及 ArcView 3.1 整合，功能包含多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製。本研究採用即時動態衛星定位系統(RTK-GPS)，靜態定位精度分析指出 X 方向(東西)最大誤差爲 2.5177 公分，Y 方向(南北)最大誤差爲 2.3573 公分，顯示 RTK-GPS 具有極準確的定位精度。利用此遙測系統提供量測平台，以便建立之水稻含氮量多光譜影像檢量模式，對於 92 年一期作之台農 67 號水稻，採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 $r_c = 0.7667$、SEC = 0.1958、$r_p = 0.7085$、SEP = 0.2252 之最佳結果。對於 92 年一期作之台稉 14 號水稻，採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 $r_c = 0.8032$、SEC = 0.1441、$r_p = 0.7285$、SEP = 0.1734 之最佳結果。本研究所開發之稻株含氮量多光譜影像遙測系統，能夠以非接觸、非破壞方式擷取水稻之多光譜影像，並藉由自行開發之軟體進行分析，最後輸出水稻田區之含氮量分佈圖，提供施肥的依據，爲精準農業提供一套有效且準確的遙測系統。

**關鍵詞**：多光譜影像、水稻、遙測、即時動態定位系統、精準農業。

## 一、前言

傳統的農耕方式，係將所有的農地一視同仁，施予相同的耕作處理，包含施肥、噴藥及灌溉等，此種農耕作業方式簡易方便，但無法針對農作物個別的差異給予最適當的栽培管理。因此，近年來農業技術發展以空間變異的

因素作爲農耕作業決策的依據，其目的在於能更精確地了解農地的變異狀況，使田間作業達到因地制宜的目標，以期能達到穩定產量、提高品質與維護生態環境的目標，並進一步衍生出精準農業的概念。

隨著科技的進步，遙測技術的蓬勃發展，目前一些農業大國如美國，已發展到利用衛星遙測的方式達成精準農業的要求。衛星遙測技術爲利用儀器偵測地表目標反射或放出的電磁輻射來決定其物理性質，此輻射量以數位化方式加以儲存紀錄，再將資料以無線電波傳回地球的接收站，此資料可以利用電腦來呈現，並對於大氣及儀器的誤差進行修正，可得到較準確的量測結果，目前在大氣科學、海洋科學、地球物理、水文學、生物學及軍事方面都廣泛的被應用(鄧及莊，1998)。蕭等(2000)利用多時段(multi-temporal)SPOT 衛星影像，判別以坵塊爲單元的水稻田分佈，進而更新農地坵塊土地的地理資訊系統(Geographic Information System，GIS)資料。Du *et al.*(2002)提出一套簡單且實用的流程去監測地表的改變，採用高解析度的輻射校正多時段衛星影像進行分析。

另外，航空遙測爲最普及、用途最廣且最經濟的遙測技術之一，利用光譜攝影技術，將地面上的景物以照片形式紀錄下來。Yang *et al.*(2000)利用航空數位影像及產量監測資料對於農作物生長情況及產量進行製圖。Han *et al.*(2001)從衛星(SPOT)影像及航照(Emerge and ADAR)影像萃取出 NDVI、GNDVI(Green Normalized Difference Vegetation Index)、RN(Red to Near-infrared band ratio)、GN(Green to Near-infrared band ratio)等指標，與實際量測之葉綠素計(SPAD)讀値進行相關分析，進而達到檢測玉米田氮逆境之情況。Goel *et al.*(2002)從飛機上擷取多光譜輻射影像，其波長範圍爲 475.12 ~ 910.01 nm，共有 24 個波段，經統計分析得到紅光段(675.98 與 685.17 nm)及近紅外光段(743.93 與 830.43 nm)對於玉米田辨識雜草有不錯的結果。

以上所提到的衛星與航空遙測，雖然皆具有綜觀廣域的特性，但衛星遙測因有其定時、定點及固定頻率之限制，而航空遙測雖有其可調整之彈性(不定時、不定點及可任意改變檢測頻率)，但在定位精準度上還是略顯不足，以美國大地衛星(Landsat Thematic Mapper，Landsat TM)爲例，其最小像元解析度爲 30×30 平方公尺，已滿足農業大國的需求，但相較於台灣小規模的農業作業環境，此種衛星遙測方式並不能符合小面積之農耕方式，且衛星影像的拍攝有其定時、定點及固定波段的特性，無法隨時與即時地提供影像，亦無法任意改變接收之波段，然而以地面遙測之方式，不僅能解決衛星遙測及航空遙測空間及頻譜解析度的不足，並且能更精準地得到地面上的農作物生長資料。

綜觀各種遙測方式，若以符合本研究需求角度來看，X 射線、紫外光、紅外線、超音波、雷射與微波較偏向屬於探討外部特徵方式，而可見光與近紅外光可應用於探討內部特徵。

若從一維的光譜資料尋找出數個有效之波長，並結合影像技術，將一維的光譜資料拓展爲二維的光譜影像資料，更搭配多個波長的光譜影像資料，應可以建立準確的量測機制。Chen *et al.*(2001、2002)及李(2001)應用多光譜影像之遙測技術，建立以作物爲本體的量測機制，利用多光譜影像特徵値計算出植物生理性狀値，藉以繪製等高線圖，得到水分逆境下植被水份、葉綠素(CMR)、標準差植被指數(NDVI)及葉面積指數(LAI)之空間分佈，以作爲蔬菜栽培的精準管理決策依據。Chen *et al.*(2002a、2002b)及陳等(2002a、2002b)以多光譜影像遙測技術進行水稻含氮量之檢測，並以 555，660，680 與 780nm 四波段建立台農

67 號稻株氮含量之檢測模式。另外，亦應用此檢量模式於不同品種之台稉 14 號水稻、不同年份及生長階段，皆顯示出本模式具有可行性，並以高空作業車於離地 15 公尺高度拍攝多光譜影像，驗証本模式可應用於大面積田區水稻含氮量分佈之分析，其結果可提供精準農業稻田肥培管理決策支援系統之應用。Park *et al.*(2001)利用高光譜(hyper-spectral)影像系統針對雞屠體進行影像拍攝，最後得到以雙波長(565/517)之光譜影像辨識雞屠體排泄物之殘留的效果最佳。Chao(2001)利用光電二極管的分光光度計對五種不同品種的雞心進行光譜擷取，利用多變率統計分析(Multivariate Statistical Analysis)的方式選擇 495、535、585 及 605 爲最佳波段，接著以此四個波長之窄頻濾鏡置於 CCD 鏡頭前，所得到之影像經由分析後得知其具有有不錯的辨識率(92 ~ 100%)。

水稻爲臺灣最重要之糧食作物。水稻的生長期長，故其產量與品質受到環境變化的影響甚鉅，其中影響產量與品質的重要原因爲氮肥的施用，汪(1974)指出適量的氮肥可促進水稻同化作用、細胞繁殖、莖之分蘗及葉面的擴大，但若氮肥過量施加，則莖葉生育太旺盛，易致倒伏且易罹病害，且會造成集水區、地下水甚至飲用水的污染，故對於整個生態環境而言，施用適量的氮肥是勢在必行的。

基於台灣爲小農之農業環境，且以水稻爲最重要之糧食作物，本研究應用多光譜影像遙測技術，對於水稻施氮肥最關鍵時期，進行非接觸、非破壞性之多光譜影像量測，監測稻株體內含氮量狀況，並利用軟硬體及機電整合的技術，發展農作物含氮量地面多光譜影像遙測系統，提供即時之農作物含氮量分佈資訊。本研究主要目的在於設計及研製稻株含氮量地面多光譜影像遙測系統，建立多光譜影像與稻株含氮量之檢測模式，以提供精準農耕應用。

## 二、方法簡述

本研究結合多光譜影像擷取系統、定位系統及多功能田間載具系統，開發一套稻株多光譜影像地面遙測系統，利用此檢測系統以稻株爲本體之量測機制，建立田間多光譜影像檢量模式，再結合地理資訊系統，完成一套稻株含氮量多光譜影像遙測系統。

### (一)稻作田區之實驗規劃

本研究以水稻爲對象物，試驗品種爲臺農 67 號及台稉 14 號，試驗地點分別爲臺中霧峰農試所(台農 67 號，92 年一期稻作，78 號田區)及臺灣大學安康農場(台稉 14 號，92 年一期稻作)。在施肥管理上，臺中縣農委會農業試驗所在試驗田區深層施肥(基肥，2003/2/27，臺肥五號複合肥，施肥機施肥)採 0、45、90 與 135 kgN/ha 四種處理(理想狀態)，但因實際施肥機使用上的調整，使得實際等效施氮量依序爲 0、32.44、81.08 與 142.47 kgN/ha 四種處理，第一次追肥(臺肥一號複合肥，2003/3/17，人工施肥)依序爲 40、80、120 與 160 kgN/ha，第二次追肥(臺肥一號複合肥，2003/3/25，人工施肥)依序爲 60、120、180 與 240 kgN/ha，此施肥方式之用意在於增加水稻施肥之差異性，觀察在不同的施肥量下多光譜影像的表現與水稻含氮量之關係，並可建立更準確之多光譜影像與稻株含氮量之檢量線。臺大安康農場田區其基肥(2003/2/21，臺肥五號複合肥)與追肥(2003/3/28，臺肥五號複合肥)皆採用 0、128 與 256 kgN/ha 三種處理。

在實驗設計上，因本研究之實驗場地包括農試所 78 號田區及臺大安康農場，因實驗場地規劃之不同，必須規劃不同的實驗設計進行試驗，以下將分別詳細說明。

#### 1. 農試所田區之實驗設計

在農試所 78 號田區進行本研究所開發之稻株含氮量多光譜影像遙測系統之實際田間

試驗，在 92 年一期作分蘖盛期時規劃採集 40 株水稻，92 年一期作幼穗形成期採集 52 株水稻。本遙測系統在 78 號田區之行進路線及採樣點如圖 1 所示，以停止怠速方式進行多光譜影像之拍攝，從氮肥處理一之區塊開始進行採樣，當行進至第一個採樣點時，以怠速方式停止，並調整鏡頭與水稻植被表面之距離爲 140 公分，接著調整最適當之光圈，以取得最適當之影像曝光量，並啓動 AutoGain，以維持此時影像曝光量，最後進行多光譜影像拍攝，其拍攝實況如圖 2 所示。當拍攝完第一株水稻後，因已啓動 AutoGain，若氣候無太大變化，且光源穩定之情況下，可維持先前所調整之影像曝光量，故在往後進行影像拍攝時，則不需再調整光圈，可直接進行多光譜影像拍攝。

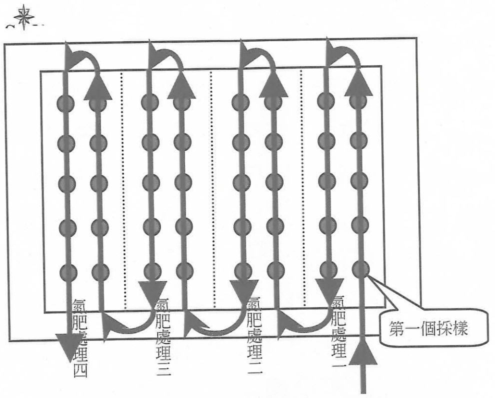


**圖 1. 農試所 78 田區之試驗路線及採樣點規劃(40 點)。**

圖 2. 在農試所 78 號田區實驗拍攝實況。

## 2. 臺大安康農場田區之實驗設計

安康農場之實驗設計上，因田區之規劃使得本研究開發之遙測系統無法進行田間試驗，故必須先將水稻採集至田邊，並自行組裝鋁擠型之拍攝架，將攝影機固定於拍攝架頂部，拍攝高度固定爲 140 公分(鏡頭至水稻植被表面)。實驗規劃上，92 年一期作分蘖盛期採集 40 株水稻，92 年一期作幼穗形成期採集 52 株水稻，與農試所之樣本數相同。首先將水稻至於拍攝架之校正框內，一次放置一株，接著調整最適當之光圈，並啓動 AutoGain，最後進行一株水稻之多光譜影像拍攝，拍攝完畢後放置另一株水稻，直接進行多光譜影像拍攝，不需再調整光圈，拍攝實況如圖 3 所示。

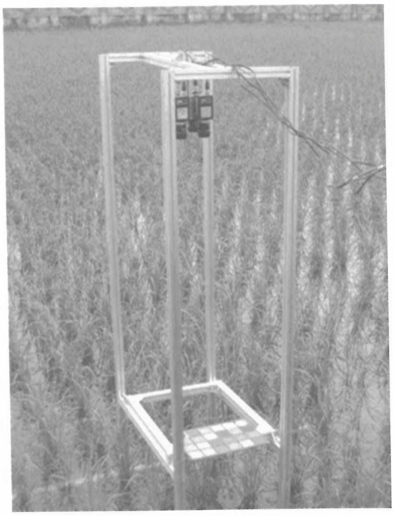

**圖 3. 在安康農場試驗之拍攝實況。**

## (二)遙測系統之開發

在硬體設備方面，本研究爲發展地面稻株含氮量多光譜影像遙測系統，在硬體方面包括多光譜影像擷取系統、定位系統及多功能田間載具。

多光譜影像擷取系統之硬體設備包括 CCD(CV-M50IR，JAI 公司)、鏡頭(16VM612，TAMRON 公司)、自行加工之鏡頭轉接環(李，

2001)、濾鏡(以黃(2002)之研究結果爲基礎，選用 555、660、680 及 780 nm 之 bandpass 濾鏡)、電腦設備及影像擷取卡(Viper Quad，Coreco 公司)及標準校正色板(ColorChecker，GretagMacbeth 公司)。在濾鏡選擇上，因 660 與 680 nm 之波長接近，且由先行試驗指出，採用三個波長(555、680 及 780 nm)與四個波長(555、660、680 及 780 nm)所得之結果極爲接近，故在往後之多光譜影像之拍攝與分析結果討論，僅採用三個波長(555、680 及 780 nm)。

本研究使用之定位系統爲即時動態衛星定位系統(Real-Time Kinematic GPS，RTK-GPS)，係 NovAtel 公司所生產之即時動態定位系統(型號爲 RT-2 GPS)，可執行公分等級精度之即時動態定位測量。

另外多功能田間載具之硬體設備方面，爲本系與農試所所執行之『田間作物性狀定點精準感測系統之開發研究』研究計劃所共同開發，除了提供行走之功能外，主要能使搭載之「多光譜影像擷取系統」具備水平移動、前傾後仰、左傾右斜、垂直移動及車輪前後移動等五個自由度之調整功能，並以油壓系統進行控制，此外，亦搭載標準色板擺設架與可調整之空間校正框，並具有田間行走之能力，且在多光譜影像擷取系統之儀器架加裝減震裝置，由橡膠墊片組成，目的爲了能加強多光譜影像擷取系統之減震效果。

### (三)系統軟體之開發

在系統軟體開發方面，本研究以 Microsoft Visual C++ 6.0 爲程式主要開發環境，進行多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製之整合，其中多光譜影像分析程式利用 Matlab 6.0 進行開發，氮素等高線繪製以 ArcView 3.1 進行繪製，以下將詳細說明。

#### 1. 多光譜影像之擷取

以 Microsoft Visual C++ 6.0 爲程式開發環境，採用影像處理卡(Viper Quad)所搭配之函式庫 Sapera 4.00(Coreco Inc.，2001)，利用此函式庫所提供之 ActiveX Control 進行程式開發。

#### 2. 定位訊號之擷取

將定位訊號從定位系統透過 RS-232 與電腦進行溝通，進行定位訊號擷取，以 Microsoft Visual C++ 6.0 爲程式開發環境，並採用 Microsoft Visual C++ 6.0 之 MSCOM(Microsoft Communication Control)元件進行溝通，取得定位字串(經度、緯度、衛星數與接收狀態等)，而其字串爲一個由「，」分隔的字串，當我們經由通訊介面(RS-232)和 RTK-GPS 系統連接時，得到$PRTKA 字串，其欄位描述詳列於表 1，接著利用字串處理將需用到之欄位擷取下來，其中，以第 7(有效衛星數)、8(緯度)、9(經度)、13(緯度誤差)、14(經度誤差)、16(定位求解狀態)、17(RTK 狀態)與 18(定位種類)欄位最爲重要，當 16、17 與 18 之訊號爲(0，0，4)時，代表得到最佳解，換句話說此時爲解算出最高精度的座標。

#### 3. 定位訊號之座標轉換

本研究採用 TWD 97 系統(民國 88 年以後之系統)，其轉換流程圖如圖 4 所示，將接收之 WGS 84 橢球座標(經緯度)進行橫麥卡托投影，得到二度分帶座標，而所使用之地理資訊系統開發套件 MapObjects(ESRI 公司)，包含一系列座標轉換之函式，可以很方便地將定位系統所得到之 WGS 84 座標系統轉換爲可以展示在地理資訊系統中的二度分帶座標(TWD 97)。

表 1. PRTKA 字串欄位之描述(NovAtel Inc.，1998)。

| Field | Field type | Data Description |
|---|---|---|
| 1 | $PRTKA | Log header |
| 2 | week | GPS week number |
| 3 | sec | GPS time into the week( in seconds) |
| 4 | lag | Different lag in seconds |
| 5 | #sv | Number of matched satellities |
| 6 | #high | Number of matched satellities above RTK mask angle |
| 7 | L1L2 #high | Number of matched satellities above RTK mask angle with both L1 and L2 available |
| 8 | lat | Latitude of position in current datum, in decimal fraction format |
| 9 | lon | Longitude of position in current datum, in decimal fraction format |
| 10 | hgt | Height of position in current datum, in meters above mean sea level |
| 11 | undulation | Geoidal separation, in meters |
| 12 | datum ID | Curremt datum |
| 13 | lat σ | Standard deviation of latitude solution element, in meters |
| 14 | lon σ | Standard deviation of longitude solution element, in meters |
| 15 | hgt σ | Standard deviation of height solution element, in meters |
| 16 | soln status | Solution status |
| 17 | rtk status | RTK status |
| 18 | posn type | Poistion type |
| 19 | idle | Percent idle time, pertange |
| 20 | stn ID | Reference station identification |
| 21 | *xx | Checksum |
| 22 | [CR][LF] | Sentence terminator |

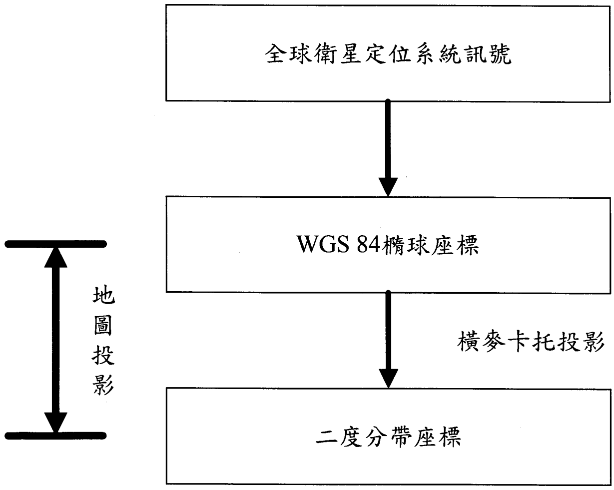


圖 4. TWD 97 之座標轉換流程。

## 4. 地理資訊系統

在Microsoft Visual C++ 6.0開發環境下進行程式撰寫，採用 ERSI 所發展出來的 MapObjects 函式庫，其爲支援開發地理資訊系統函式庫，故本開發軟體所輸出的電子地圖檔案格式也遵循ERSI所公佈的Shapefile檔案格式，支援的形式包括點(Point)、線(Line)、多邊形(Polygon)、長方形(Rectangular)與橢圓形(Ellipse)五種類型，而在儲存時只能選擇其中一種形式儲存。利用 MapObjects 函式庫可將電子地圖(Shapefile)進行局部放大、縮小、標記與還原等控制功能外，亦具有開啓舊圖層

(Shapefile)、建立新圖層、儲存圖層與清除圖層等圖層管理功能。

**5. 多光譜影像分析**

當取得水稻植株之多光譜影像後，必須針對影像之空間長度與灰階度值進行校正；而多光譜影像包括水稻植被與土壤等背景，必須予以分離，最後將分離出來的水稻植被之影像吸收度值與實際含氮量進行迴歸分析。

在空間校正部分，本研究利用 Gonzalez and Woods(1993)在 Digital Image Processing 一書所提及之空間轉換方法進行空間校正，利用一對雙線性方程式，將四個端點之眞實與失眞座標帶入，取得雙線性方程式之係數，便可利用此係數將眞實座標校正回來。而以眞實座標影像推算失眞座標影像時，經由雙線性轉換公式計算後，可能會得到非整數像素點，將選擇最鄰近之像素點對應(指定爲最鄰近之像素點的灰階度)，而多光譜影像經由此空間校正之程序後，可得到眞實座標之影像。

在背景分離方面，本研究引用陳(2003)所提到之 Otsu(1979)所發展的一套非參數式與非監督式之自動尋找二元化灰階影像閥値的方法，將多光譜影像進行尋找最佳閥値之計算，當灰度值大於最佳閥値判定爲水稻植株，小於最佳閥値則爲土壤及陰影，可得到背景分離之水稻植株之多光譜影像。

而灰階校正方面，因拍攝多光譜影像時所調整光圈大小不盡相同，造成曝光量不一致，而爲了修正影像的曝光量，眞實地取得水稻植被多光譜影像灰階度值，本研究採用李(2001)之研究成果，使用標準色板作爲影像灰階度值校正之參考。

**6. 迴歸分析**

本研究利用 Matlab 6.1 程式開發軟體進行開發，採用多重線性迴歸(Multiple Linear Regression，MLR)進行迴歸分析，利用淨偏相關係數與偏 F 統計量作爲波長選擇準則，並進行迴歸分析。一般 MLR 之方程式如[1]式。

$$Y = K_0 + {}_{i=1}^{n} K_i \times A_i \quad \text{.......}[1]$$

其中，$Y$ 爲模式預測值(稻株之含氮量)，$i$ 爲波長代碼(555 nm 爲 1，680 nm 爲 2，780 nm 爲 3)，$n$ 爲波長個數(本研究設計爲包含 3 個波長)，$K_0$ 及 $K_i$ 爲迴歸分析求得之係數，$A_i$ 爲波長 $i$ 之影像吸收度值，此影像吸收度值之定義如[2]所示(李，2001)。

$$\text{¾“x 碑}(A_i) = \log\left(\frac{1}{\frac{\text{碑}}{255}}\right) \quad \text{.......}[2]$$

建立迴歸公式後，以下爲統計常使用之評判標準：

$$\text{€Z³Œë·} \quad (SEC) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{C_i} - Y_{R_i}\right)^2}{n-m-1}} \quad \text{.......}[3]$$

$$\text{€—a‘ªŒë·} \quad (SEP) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{P_i} - Y_{R_i}\right)^2}{n-1}} \quad \text{.......}[4]$$

$$\text{€Z³Œë·} \quad (RSEC) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_{C_i} - Y_{R_i}}{Y_{R_i}}\right)^2}{n-m-1}} \quad \text{.......}[5]$$

$$\text{€—a‘ªŒë·} \quad (RSEP) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_{P_i} - Y_{R_i}}{Y_{R_i}}\right)^2}{n-1}} \quad \text{.......}[6]$$

其中，$n$ 為樣本個數，$m$ 為 MLR 模式之波長個數，$Y_R$ 為實驗量測值，$Y_C$ 為校正組計算值，$Y_P$ 為預測組計算值。

**7. 等高線繪製**

採用 ArcView GIS 3.1 軟體進行等高線繪製，先將具有含氮量之二度分帶座標點匯入，再將二度分帶座標點所對應之含氮量匯入，利用軟體所具有之功能(Surface → Create Contours 與 Surface → Interpolate Grid)進行等高線圖與塗彩網格圖繪製，其中 Create Contours 可以 Shapefile 格式進行存檔，而 Interpolate Grid 則可以 BMP 或 JPG 等其他圖片檔案格式進行儲存。

**(四)凱氏氮之分析**

凱氏氮之化學檢驗方面，為了瞭解稻株體內之含氮量多寡，必須進行傳統的化學實驗，以化學檢測方式精確地取得稻株體內之含氮量。本研究之氮素量測為採用凱氏氮量測法(Kjedahl Method)，進行化學實驗之含氮量測定，此方法參考中央國家標準局(1976)及植物生理學實驗所提到之凱氏氮總氮測定法(王等，1998)進行稻株體內含氮總量之測定，而凱氏氮測定流程如黃(2003)之說明。

## 三、結果與討論

本研究發展出來之稻株含氮量多光譜影像遙測系統，以下分為系統硬體之研製整合、系統軟體之開發與水稻含氮量多光譜影像檢量模式之建立。

**(一)系統硬體之研製整合**

稻株含氮量多光譜影像遙測系統之全貌如圖 5 所示，將四支 CCD 架設於圖 5 中之 A 位置，RTK-GPS 移動站天線則置於四支 CCD 正上方之 B 位置，標準色板擺設於攝影機下方之擺設架機構之 C 位置，而可調整之空間校正框置於 D 位置，個人電腦放置多功能田間載具之後方平台 E 位置，並將 CCD、RTK-GPS 移動站之訊號線分別接入電腦的影像擷取卡(Viper Quad)擷取通道及 RS-232 連接阜，另外 F 為橫移平台，具有水平移動、前傾後仰、左傾右斜、垂直移動等四個自由度之調整，而個人電腦、CCD 之電源由車用電瓶經 12V 轉 110V 之電壓轉換器所輸出之電源供應，RTK-GPS 移動站則直接接上 12V 電瓶。在 RTK-GPS 之靜態定位精度分析方面，結果指出 X 方向(東西)最大誤差為 2.52 公分，Y 方向(南北)最大誤差為 2.36 公分，顯示 RTK-GPS 具有極準確的定位精度。

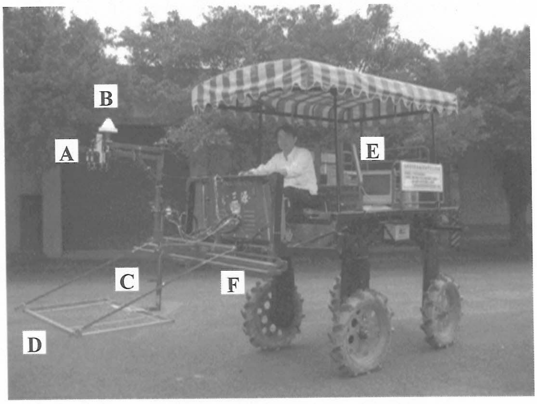


**圖 5. 稻株含氮量多光譜影像遙測系統全貌。**

**(二)系統軟體之開發**

本研究以 Microsoft Visual C++ 6.0 為程式主要開發環境，進行多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製等程式之整合，其中多光譜影像分析程式利用 Matlab 6.0 進行開發，等高線繪製以 ArcView 3.1 進行繪製。

**1. 多光譜影像之擷取**

自行開發之多光譜影像擷取系統具有擷取四張影像(四個通道之影像在 0.5 秒內擷取完成)、凍結影像(凍結影像顯示區之影像)、清除影像(清除影像顯示區之影像)、儲存影像(會

跳出新視窗詢問儲存檔名，BMP 格式)、開啓影像(開啓已儲存之影像)及產生預設存檔路徑及檔名(當按下擷取四張影像時，並以此路徑與檔名進行儲存)之功能。

**2. 定位訊號之擷取**

採用 strtok 函式將從 RTK-GPS 系統所擷取之字串進行分割，strtok 函式作用爲可找到下一個 token(可自訂符號，在此 token 設定爲「，」)進行分割，並搭配 for 迴圈。最後將字串處理後所得每一個字串資料分割出來，往後可依需要直接取得所需要的字串。

**3. 定位訊號之座標轉換**

在取得字串資料後，可將經緯度之字串進行座標轉換，其撰寫流程如圖 6 所示，可以很方便地將定位系統所得到之 WGS 84 座標系統轉換爲可以展示在地理資訊系統中的二度分帶座標(TW 97)。

**4. 地理資訊系統**

本開發軟體之地理資訊系統功能可分爲三類：檔案類、控制類與編輯類，檔案類包括：開啓舊的 Shapefile、開啓新的 Shapefile 與儲存新的 Shapefile，控制類包括：清除地圖、局部放大地圖、縮小地圖、移動地圖、標記地圖與將地圖還原最初狀態，編輯類包括：畫點、線、長方形、多邊形及橢圓形，程式介面如圖 7 所示(以上所說明之功能與圖 7 中工具列的排列相同，由左至右)。

**圖 6. TWD 97 之座標轉換撰寫流程圖。**

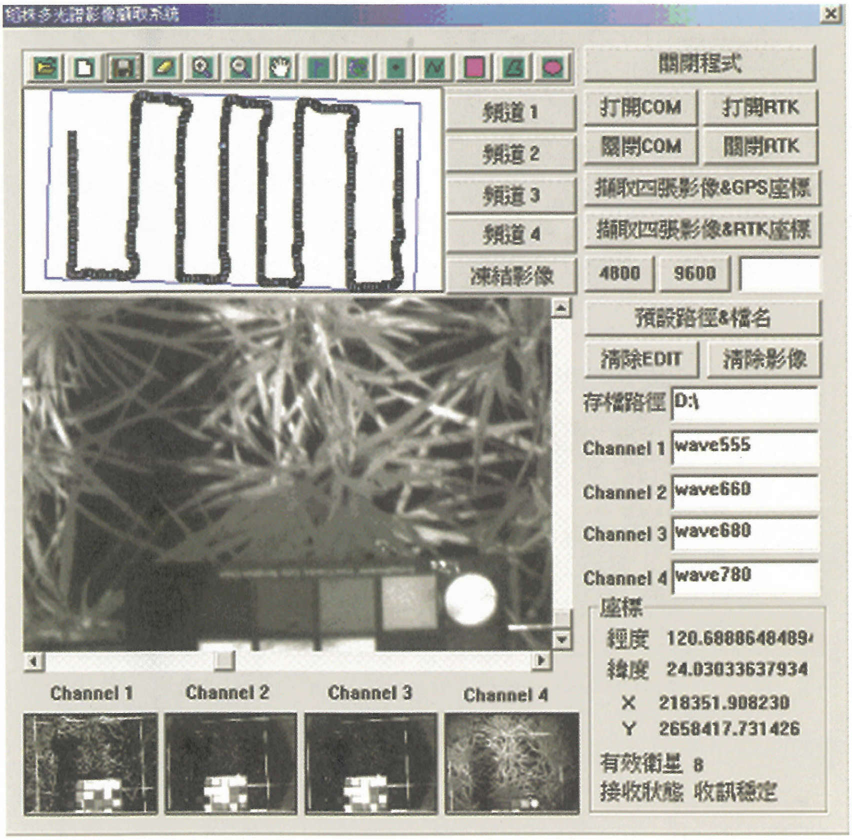


圖 7. 自行開發系統軟體之程式介面。

5. **多光譜影像分析**

多光譜影像分析程式包括空間校正、設定遮罩、背景分離、灰階校正與平均灰度值之計算，因為此部份之運算皆採用矩陣方式進行運算，故採用 Matlab 6.0 之程式開發軟體進行開發，可加快執行速度，最後再與 Visual C++ 6.0 進行連結。

圖 8 為水稻多光譜原始影像，將空間校正框之周圍四點平移至設定的影像大小(長和寬之 pixels 數與實際大小成比例)，圖 9 為空間校正後之多光譜影像，圖 10 為設定遮罩後之影像，圖 11 為背景分離之反白影像(以反白影像顯示較為清楚)，圖 12 為灰階校正之反白影像(原因同圖 11)，最後利用[9]式計算出水稻多光譜影像之平均灰階度值，最後將計算結果與其所對應之波段與樣本編號存成文字檔。

$$Average_gray = \frac{\sum_{i=0}^{n}(i \times number_i)}{\sum_{i=0}^{n} number_i} \quad \text{...........} [9]$$

其中，$Average_gray$ 為平均灰階度值，$i$ 為灰階度，$n$ 為灰階度範圍，在此為 255，$number_i$ 為影像中灰階度為 $i$ 之個數。

6. **迴歸分析**

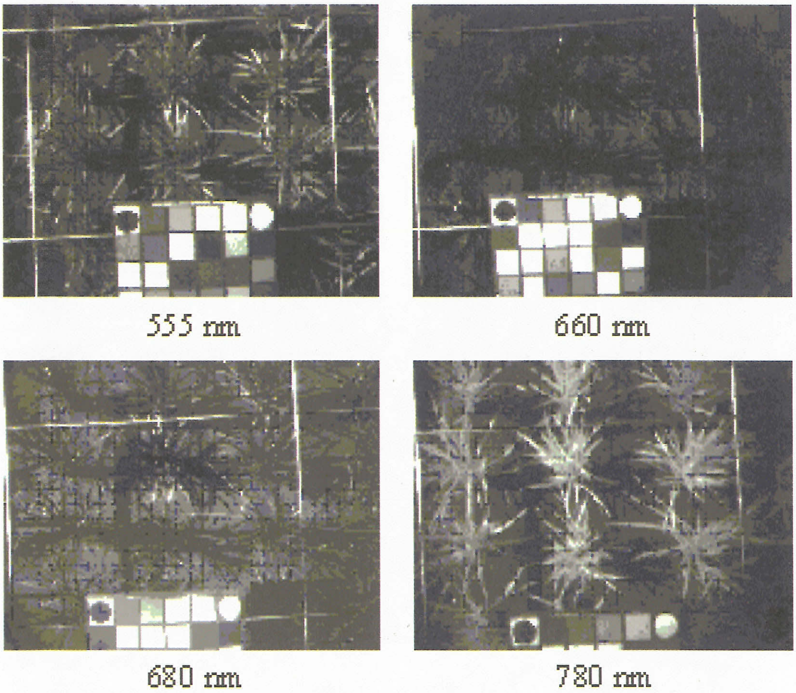


圖 8. 水稻多光譜原始影像。

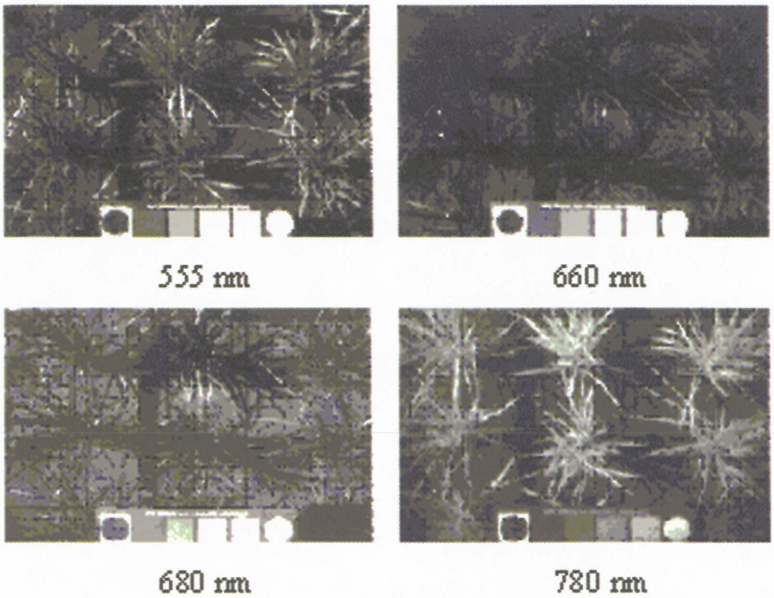


圖 9. 空間校正後影像。

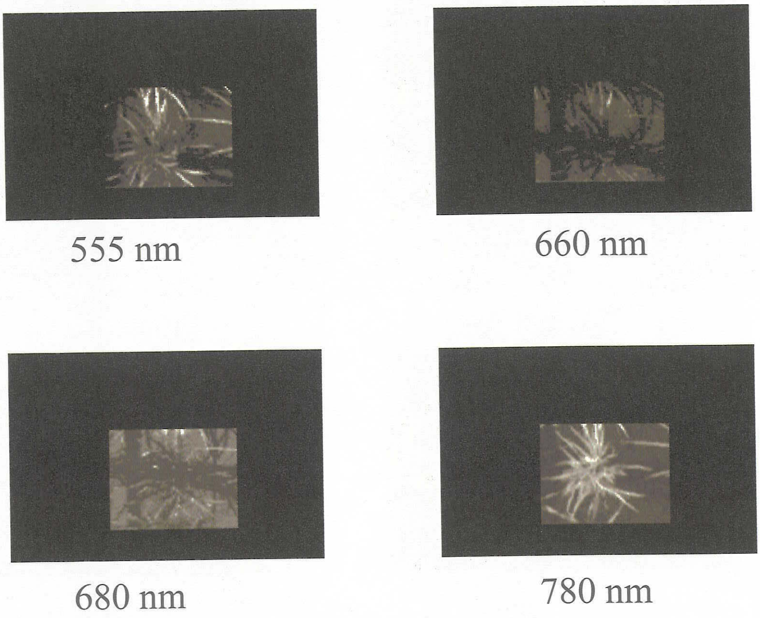


圖 10 設定遮罩後之單叢水稻影像。

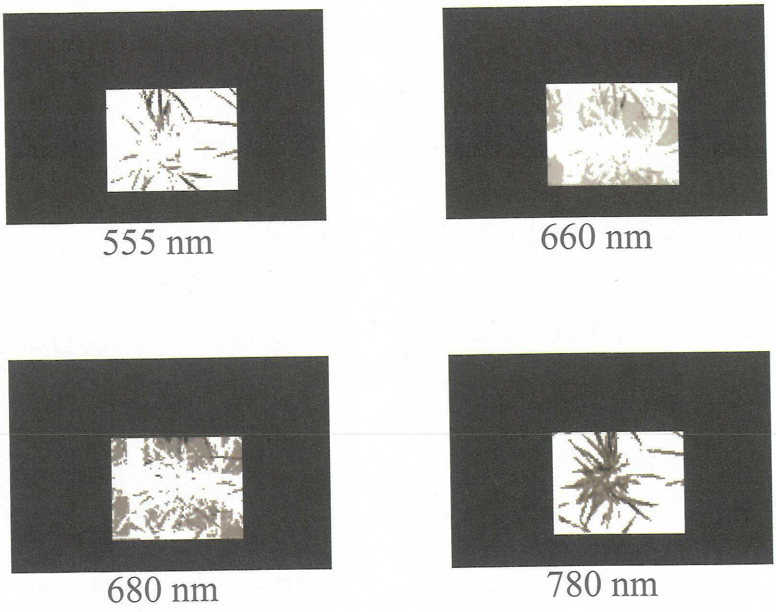


圖 11. 背景分離後之水稻多光譜反白影像。

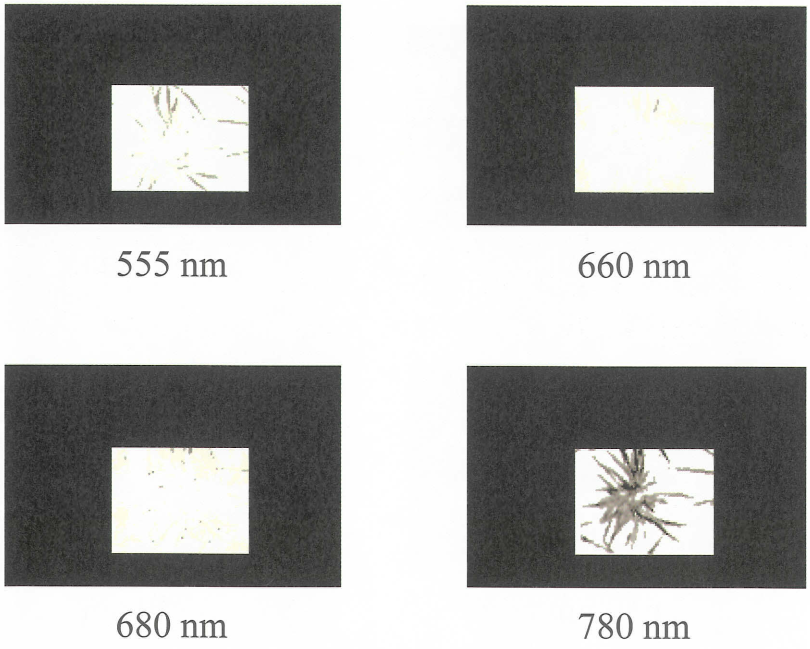


圖 12. 灰階校正後之水稻多光譜反白影像。

以多重線性迴歸之方式進行檢量線之建立。此迴歸分析程式之流程如下：首先自動讀取紀錄多光譜影像平均灰階度值與凱氏氮化驗值之文字檔，並將灰階度值換算爲吸收度值([2]式)，接著以 2：1 之樣本個數比例進行校正組與預測組之分組，且使校正組之凱氏氮範圍恆大於預測組之凱氏氮範圍，接著採用 Matlab 內鍵之 mlr 函式與 validmod 函式進行檢量線之建立(取得波長之係數)與驗證，並計算 $r_c$、SEC、RSEC、$r_p$、SEP、RSEP 等判定檢量線模式優劣之指標。

## 7. 等高線繪製

將 Visual C++ 6.0 與 ArcView GIS 3.1 之地理資訊軟體進行結合，利用 ArcView 軟體內之 Create Contours 與 Interpolate Grid 功能進行等高線圖與塗彩網格圖繪製，分別如圖 13 與圖 14 所示。

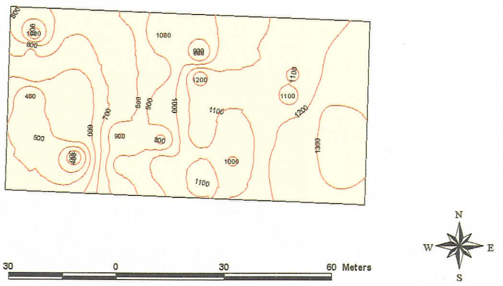


圖 13. 水稻含氮量(乘 1000)分佈之等高線圖。

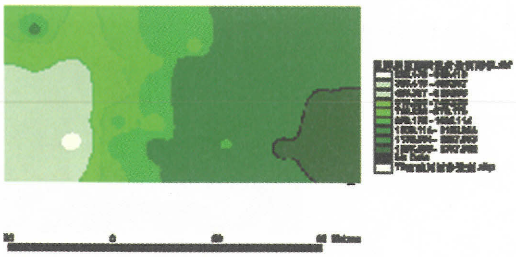

圖 14.水稻含氮量(乘 1000)分佈之塗彩網格圖。

### (三)水稻含氮量多光譜影像檢量模式之建立

以台農 67 號水稻(台中農試所 78 號田區)與台粳 14 號水稻(臺大安康農場)爲實驗樣本，分別針對分蘗盛期與幼穗形成期進行多光譜影像遙測，接著利用化學方式量測出植株之含氮量，最後針對水稻多光譜影像之吸收度值與植株含氮量進行迴歸分析。

1. 九十二年一期作台農 67 號水稻分蘗盛期

針對 92 年台中農試所一期稻作分蘗盛期之水稻進行田間多光譜影像拍攝，利用自行開發之多光譜影像擷取系統同時擷取 555、680 及 780 nm 之多光譜灰階影像，並以化學方式測量水稻含氮量(含氮量百分比，%)，最後以自行開發之多重線性迴歸分析軟體進行分析，分析結果(表 2)指出，校正組(27 個樣本)之 $r_c = 0.7968$、SEC = 0.1948 及 RSEC = 33.84%，預測組(13 個樣本)之 $r_p$ = 0.7622、SEP = 0.2490 與 RSEP = 26.62%，顯示利用三個波長(555、660 及 780 nm)之多光譜影像進行水稻含氮量之檢測可達到不錯的效果，其檢量線如[10]所示。

$$N_{67T} = -1.01667 - 0.22198A_{555} + 0.605938A_{680} + 0.873292A_{780} \quad \text{[10]}$$

其中，$N_{67T}$ 代表台農 67 號分蘗盛期水稻含氮量(%)，$A_{555}$、$A_{680}$ 及 $A_{780}$ 分別依序爲水稻在波長爲 555、680 及 780 nm 時多光譜影像之平均吸收度值。

**表 2. 九十二年一期作台農 67 號之個別時期與綜合迴歸分析結果。**

| 水稻種類 | $r_c$ | SEC | RSEC | $r_p$ | SEP | RSEP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 台農67號(分蘗盛期+幼穗形成期)(89株) | 0.7667 | 0.1958 | 39.62% | 0.7085 | 0.2252 | 33.82% |
| 台農67號分蘗盛期(40株) | 0.7968 | 0.1948 | 33.84% | 0.7622 | 0.2490 | 26.62% |
| 台農67號幼穗形成期(52株) | 0.7712 | 0.2006 | 33.88% | 0.7948 | 0.2248 | 31.63% |

註：本表之分析採用 555、680 及 780 nm 三個波長。

2. 九十二年一期作台粳 14 號水稻分蘗盛期

針對 92 年臺大安康農場一期稻作分蘗盛期之水稻進行研究，經迴歸分析結果(表 3)顯示，校正組(26 個樣本)之 $r_c = 0.6069$、SEC = 0.1145 及 RSEC = 9.79%，預測組(14 個樣本)之 $r_p$ = 0.5330、SEP = 0.1348 與 RSEP = 12.35%，其檢量線如[11]所示。

$$N_{14T} = -1.21221 + 1.088043A_{555} + 0.085386A_{680} - 0.85384A_{780} \quad \text{[11]}$$

其中，$N_{14T}$ 代表台粳 14 號分蘗盛期水稻含氮量(%)。

表 3. 九十二年一期作台稉 14 號之個別時期與綜合迴歸分析結果。

| 水稻種類 | $r_c$ | SEC | RSEC | $r_p$ | SEP | RSEP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 台梗14號(分櫱盛期+幼穗形成期)(92株) | 0.8032 | 0.1441 | 16.17% | 0.7285 | 0.1734 | 18.13% |
| 台梗14號分櫱盛期(40株) | 0.6069 | 0.1145 | 9.79% | 0.5330 | 0.1348 | 12.35% |
| 台梗14號幼穗形成期(52株) | 0.6085 | 0.1768 | 20.03% | 0.5925 | 0.1803 | 22.26% |

註：本表之分析採用 555、680 及 780 nm 三個波長。

3. 九十二年一期作台農 67 號水稻幼穗形成期

針對台中農試所一期稻作幼穗形成期之水稻進行多光譜影像拍攝，經由迴歸分析之結果(表 2)爲：校正組(35 個樣本)之 $r_c = 0.7712$、SEC = 0.2006 及 RSEC = 33.88%，預測組(17 個樣本)之 $r_p$ = 0.7948、SEP = 0.2248 與 RSEP = 31.63%，其檢量線如[12]所示。

$$N_{67P} = 0.609383 + 0.748994A_{555} - 0.45165A_{680} - 0.33705A_{780} \quad \text{[12]}$$

其中，$N_{67P}$ 代表台農 67 號幼穗形成期水稻含氮量(%)。

4. 九十二年一期作台稉 14 號水稻幼穗形成期

針對臺大安康農場一期稻作幼穗形成期之水稻進行多光譜影像拍攝，經由迴歸分析之結果(表 3)爲：$r_c = 0.6085$、SEC = 0.1768、RSEC = 20.03%、$r_p$ = 0.5925、SEP = 0.1803 及 RSEP = 22.26%，其檢量線如[13]所示。

$$N_{14P} = -0.50746 + 0.54561A_{555} + 0.31545A_{680} - 1.02725A_{780} \quad \text{[13]}$$

其中，$N_{14P}$ 代表台稉 14 號幼穗形成期水稻含氮量(%)。

5. 綜合分析

若將同一品種之水稻於分櫱盛期與幼穗形成期之所有樣本集中一起進行綜合分析，不僅可增加樣本的差異性，亦可比較不同生長階段之差異性或通用性。

進行台中農試所之台農 67 號水稻含氮量多重線性迴歸分析，結果顯示以 555、680 及 780 nm 三波長之校正組(59 個)分析結果(表 2)爲 $r_c$ = 0.7667、SEC = 0.1958 與 RSEC = 39.62%，預測組(30 個)分析結果爲 $r_p$ = 0.7085、SEP = 0.2252 和 RSEP = 33.82%(刪除差異過大之 3 個水稻樣本)，其檢量線如[14]所示。

$$N_{67TP} = -2.15545 + 0.682916A_{555} + 0.324428A_{680} + 0.364053A_{780} \quad \text{[14]}$$

其中，$N_{67TP}$ 代表台農 67 號水稻含氮量(分櫱盛期與幼穗形成期)(%)。

若將台農 67 號水稻在個別生長時期(分櫱盛期或幼穗形成期)之分析結果與綜合分析

(分蘗盛期 + 幼穗形成期)進行比較，如表 2 所示，綜合分析(分蘗盛期+幼穗形成期)之迴歸結果與分蘗盛期及幼穗形成期之結果差異不大，顯示台農 67 號水稻之含氮量與多光譜影像(555、680 與 780 nm)之表現在不同生長時期(分蘗盛期與幼穗形成期)有一定程度之相關性，故在未來檢測不同時期之水稻(台農 67 號)時，亦可利用綜合分析所得之檢量線([14]式)來預測水稻含氮量。

至於台稉 14 號之水稻，將臺大安康農場之台稉 14 號水稻樣本進行綜合分析(分蘗盛期與幼穗形成期)，經由多重線性迴歸分析結果(表 3)指出，校正組(61 個)之 $r_c$ = 0.8032、SEC = 0.1441 與 RSEC = 16.17%，預測組(31 個)爲 $r_p$ = 0.7285、SEP = 0.1734 和 RSEP = 18.13%，達到不錯的結果，其檢量線如[15]所示。

$$N_{14TP} = -0.48169 + 0.592968A_{555} + 0.183717A_{680} - 0.62266A_{780} \quad [15]$$

其中，$N_{14TP}$ 代表台稉 14 號水稻含氮量(分蘗盛期與幼穗形成期)(%)。

若將台稉 14 號水稻在個別生長時期之分析結果(分蘗盛期或幼穗形成期)與綜合分析(分蘗盛期 + 幼穗形成期)進行比較，如表 3 所示，綜合分析所得之 $r_c$ 與 $r_p$ 大幅提高，且 SEC、SEP、RSEC 與 RSEP 等誤差參數指標介於分蘗盛期與幼穗形成期之間，顯示綜合分析對於提昇檢測水稻在不同生長時期含氮量之準確度有顯著的效果。

若將表 2(台農 67 號)及表 3(台稉 14 號)進行結果比較，顯示台稉 14 號所得之結果較佳(RSEC 與 RSEP)，其原因可能爲實驗方式不同所造成，台稉 14 號水稻之拍攝狀態爲完全靜止，而台農 67 號水稻爲怠速震動狀態，可能在此造成一些誤差。

## 四、結語

本研究以多光譜影像遙測技術爲基礎，自行開發出稻株含氮量多光譜影像遙測系統，此系統之建構包括硬體研製整合及軟體開發，另外亦利用此系統所建立之水稻含氮量多光譜影像檢量模式進行探討。

在硬體研製整合上，稻株含氮量多光譜影像遙測系統已成功結合多光譜影像擷取系統(自行開發完成)、定位系統及多功能田間載具系統，其中，定位系統採用即時動態全球衛星定位系統(RTK-GPS)，並搭配標準色板(灰階度校正)、自行建構之可調整空間校正框(空間校正)、電壓轉換器與車用電池(提供電源)，構成一套可獨立於田間作業之地面多光譜影像遙測系統。在 RTK-GPS 之靜態定位精度分析方面，結果指出 X 方向(東西)最大誤差爲 2.52 公分，Y 方向(南北)最大誤差爲 2.36 公分，顯示 RTK-GPS 具有極準確的定位精度。

在軟體開發上，利用 Microsoft Visual C++ 6.0 進行程式撰寫，並與 Matlab 6.0 及 ArcView 3.1 完成整合，功能包含多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製，其中多光譜影像分析包括空間校正、設定遮罩、背景分離(二元化)、灰階校正與平均灰度值之計算。

利用此系統所建立之水稻含氮量多光譜影像檢量模式方面，試驗品種爲 92 年一期作之台

農 67 號(台中農試所)與台稉 14 號(台大安康農場)，分別針對分櫱盛期與幼穗形成期進行試驗，實驗結果指出，對於 92 年一期作之台農 67 號水稻(分櫱盛期 + 幼穗形成期)，採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 $r_c$ = 0.7667、SEC = 0.1958、RSEC = 39.62%、$r_p$ = 0.7085、SEP = 0.2252、RSEP = 33.82%之結果，雖個別生長時期(分櫱盛期與幼穗形成期)之檢測含氮量檢量線已建立，在此提供一不分生長階段之含氮量檢量線。

對於 92 年一期作之台稉 14 號水稻(分櫱盛期 + 幼穗形成期)，亦採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 $r_c$ = 0.8032、SEC = 0.1441、RSEC = 16.17%、$r_p$ = 0.7285、SEP = 0.1734、RSEP = 18.13%之結果，在建立個別時間(分櫱盛期與幼穗形成期)檢量線的同時，亦提出另外一個選擇(綜合時期之檢量線)。

本研究所開發之稻株含氮量多光譜影像遙測系統，能夠以非接觸、非破壞方式擷取水稻之多光譜影像，並藉由自行開發之軟體進行分析，最後輸出水稻田區之含氮量分佈圖，提供施肥的依據，爲精準農業提供一套有效且準確的遙測系統。

## 五、誌謝

本項研究承蒙行政院農業委員會(89 遙測-4.1-糧-41(Z), 90 農科-4.1.1-農-C2(Z)及農委會農業試驗所經費(91 農科-5.1.3-農-C2(Z), 92 農科-1.1.6-農 C1(Z))支持，謹藉以表示由衷感謝。

## 六、引用文獻

王月雲、陳是瑩、童武夫。1998。植物生理學實驗。台北：藝軒圖書出版社。

中央國家標準局。1976。廢水污水總凱氏氮檢測法。標準總號：3944。

汪呈因。1974。稻作學與米。初版，p118-120。台北：徐氏基金會。

李明達。2001。水分逆境下植物影像特徵分析之研究。碩士論文。台北：臺灣大學生物產業機電工程學所。

陳世銘、黃政偉、吳德輝、楊智凱、黃竣吉、蔡養正、繆八龍。2002a。稻株含氮量地面多光譜影像遙測系統之開發研究。p.93-99。「水稻精準農業(耕)體系之研究」計畫成果研討會暨展示會大會手冊”，2002。農委會農業試驗所，臺中縣。

陳世銘、黃政偉、黃竣吉、吳德輝、楊智凱、蔡養正、繆八龍。2002b。稻株含氮量地面多光譜影像遙測系統之開發研究。台灣農業機械 17(5)：10-12。

陳加增。2003。以多光譜影像與決策支援系統應用於蔬菜作物氮肥管理之研究。博士論文計畫書。臺灣大學生物產業機電工程學所，臺北市。

黃政偉。2002。多光譜影像應用於水稻植株含氮量之遙測。碩士論文。臺灣大學生物產業機電工程學所，臺北市。

黃竣吉。2003。稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究。碩士論文。臺灣大學生物產業機電工程學所，臺北市。

鄧耀宗、李蒼郎、李瑞興。1999。台灣稻作發展史。382。台灣省政府農林廳，南投縣。

蕭國鑫、劉治中、史天元。2000。遙測與 GIS 結合應用於水稻田辨識。航遙及遙測學刊。5(4)：1-22。

Chao, K., Y. R. Chen, W. R. Hruschka and B. Park. 2001. Chicken Heart Disease Characterization by Multi-spectral Image. Applied Eng. in Agric. 17(1): 99-106.

Chen, S., C. W. Huang, T. H. Wu, C. K. Yang, C. C. Huang, Y. Z. Tsai and P. L. Miao. 2002a. Remote sensing of nitrogen content in rice crop using multi-spectral imaging. p.466-472. *In:* Proceedings of International Symposium on Automation and Mechatronics of Agricultural and Bioproduction Systems. National Chiayi University, Chiayi, Taiwan.

Chen, S., C. W. Huang, T. H. Wu, C. K. Yang, C. C. Huang, Y. Z. Tsai and P. L. Miao. 2002b. Development of a remote sensing system using multi-spectral imaging for determining nitrogen content in rice crop.(submitted for publication)

Chen, S. and M. T. Li. 2001. Multispectral Imaging of Chlorophyll Content for Vegetable Status Monitoring. p.603-608. *In:* Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering, Proceedings of the 6th International Symposium held in Potsdam 2001. Potsdam, Germany: Institute of Agricultural Engineering Bornim e.V. (ATB), Berlin.

Chen, S., M. T. Li, C. T. Chen, Y. C. Lin, C. W. Huang, T. H. Wu and K. W. Hsieh. 2002. Remote sensing of crop growth characteristics in greenhouses. In "Proceedings of International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses", eds. S. Chen and T. T. Lin, eds. Acta Horticulturae 578:295-301.

Coreco Inc., 2001. Sapera 4.00. Ver. 4.00. Canada.: Coreco Inc

Du Yong, P. M. Teillet and J. Cihlar. 2002. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sens. Environ. 82:123-134.

Goel P. K., S. O. Prasher, R. M. Patel, D. L. Smith and A. DiTommaso. 2002. Use of airborne multi-spectral imagery for weed detection in field crops. Trans. ASAE 45(2): 443-449.

Gonzalez R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company Inc., U.S.A.

Han, S., L. Hendrickson and B. Ni. 2001. Comparison of Satellite Remote Sensing and Aerial Photography for Ability to Detect In-Season Nitrogen Stress in Corn. ASAE Paper No. 011142. St. Joseph, Mich.: ASAE.

NovAtel Inc., 1998. MiLLennium GPSCard Software Ver. 4.50 Command Description Manual. Calgary, Canada.: NovAtel Inc.

Otsu N. 1979. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics 9(1): 62-66.

Park, B., K. C. Lawrence, W. R. Windham and R. J. Buhr. 2001. Hyperspectral Imaging for Detecting Fecal and Ingesta Contamination on Poultry Carcasses. ASAE Paper No. 013130. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Yang, C., J. H. Everitt, J. M. Bradford and D. E. Escobar. 2000. Mapping grain sorghum and yield variations using airborne multispectral digital imagery. Applied Eng. in Agric. 43(6): 1927-1938.

# Development of Multi-Spectral Remote Imaging System to Measure Nitrogen Content in Rice

Suming Chen[1], Chun-Chi Huang[1], Chih-Kai Yang[2], Chia-Tseng Chen[1], Cheng-Wei Huang[1], Te-Hui Wu[3], Yang-Zenq Tsai[4] and Pa-Lung Miao[5]

[1] Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, Nation Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC

[2] Division of Agriculture Engineering, Agriculture Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC

[3] Department of Biomechatronic Engineering, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan, ROC

[4] Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC

[5] The Experimental Farm, Nation Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC

E-mail: schen@ccms.ntu.edu.tw

## ABSTRACT

This study is aimed to develop a multi-spectral remote imaging system to measure the nitrogen content in rice. In the integration of the hardware, the multi-spectral imaging system, the position system and the multi-function field-carrier were successfully integrated to develop a ground-based remote sensing system. As for the software, Microsoft Visual C++ 6.0, Matlab 6.0 and ArcView 3.1 were used to develop a program. The program was implemented with functions including acquisition of the multi-spectral images, collection of the position signals, transformation of geographic information, processing of multi-spectral images, analysis of model regressions and expression of contours. The study used the RTK-GPS (Real-Time Kinematic GPS) as position system, with an accuracy of 2.52 and 2.36 cm in X- and Y-direction respectively. The multi-spectral imaging model is developed by using the multi-spectral remote imaging system as a measurement platform. Regarding rice of Tainung 67 variety (1$^{st}$ crop, 2003), the model used three band wavelengths (555, 680 and 780 nm) to predict the nitrogen content in rice. The model gave the results as $r_c$ = 0.7667, SEC = 0.1958, $r_p$ = 0.7085 and SEP = 0.2252. As to rice of Taiken 14(1$^{st}$ crop, 2003), the model also using wavelengths at 555, 680 and 780 nm showed the results of $r_c$ = 0.8032, SEC = 0.1441, $r_p$ = 0.7285 and SEP = 0.1734. The study developed a multi-spectral remote imaging system to measure nitrogen content in rice, which is capable to obtain the multi-spectral images in non-contact and non-destruction way, and the nitrogen content distribution can be analyzed in rice fields by the using the self-developed program. The system will provide a basis of future application to site-specific management of fertilizer, and to the precision agriculture.

**Key words**: Multi-Spectral Imaging, Rice, Remote Sensing, RTK-GPS, Precision Agriculture.